



**Unioeste - Universidade Estadual do Oeste do Paraná**  
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS  
Colegiado de Ciência da Computação  
*Curso de Bacharelado em Ciência da Computação*

**Um sistema baseado em smartphone para adaptação de implementos agrícolas  
para taxa variável**

*Luiz Guilherme Fonseca Rosa*

**CASCADEL  
2018**

**Luiz Guilherme Fonseca Rosa**

**Um sistema baseado em smartphone para adaptação de implementos agrícolas para taxa variável**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Ciência da Computação, do Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Campus de Cascavel

Orientador: Prof. Marcio Seiji Oyamada

CASCADEL  
2018

**Luiz Guilherme Fonseca Rosa**

**Um sistema baseado em smartphone para adaptação de implementos agrícolas para taxa variável**

Monografia apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência da Computação, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, aprovada pela Comissão formada pelos professores:

---

Prof. Marcio Seiji Oyamada (Orientador)  
Colegiado de Ciência da Computação,  
UNIOESTE

---

Rogério Schneider (Co-orientador)  
Agromatic Automação e Controle

---

Prof. Flavio Gurgacz  
Colegiado de Engenharia Agrícola, UNIOESTE

Cascavel, 6 de Dezembro de 2018

## DEDICATÓRIA

*Dedico este trabalho ao meu pai Gerson (in memoriam), de quem espero ter herdado ao menos parte de sua sabedoria e sede de conhecimento.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço minha família, que me deu todo o suporte necessário na jornada desta graduação, em especial minha mãe Clarice e meus irmãos Felipe, Gustavo, Patrícia, Débora, Karina e Larissa. Também aos meus colegas de curso e todos os professores do colegiado de Ciência da Computação da UNIOESTE, com os quais aprendi tanta coisa e dividi tantos momentos bons. Por fim, agradeço a Bruna Karla, que me apoiou e me manteve motivado durante todo o período em que estive nesta universidade.

# Lista de Figuras

2.1	Um exemplo de sistema VRT [Saraiva, Cugnasca e Hirakawa 2000] . . . . .	5
3.1	Representação poligonal de um Shapefile, adaptado de [SAP 2016] . . . . .	8
3.2	Sistema desenvolvido para visualização dos mapas . . . . .	11
4.1	Fluxo de navegação do aplicativo móvel . . . . .	13
4.2	Telas do aplicativo. Em (a), o usuário deve selecionar o botão para iniciar o fluxo. Em (b), são listados os arquivos <i>json</i> do dispositivo, para que o usuário selecione um mapa. Em (c), são listados os dispositivos Bluetooth próximos, para que o usuário selecione a plataforma de <i>hardware</i> . Em (d), um diálogo solicita ao usuário a medida de aplicação a ser adotada. Em (e), o mapa é exibido com a localização do usuário e uma informação de que há pouca precisão de GPS. Em (f) o mapa é exibido com um alerta de precisão não ideal. . . . .	14
4.3	Esteira desenvolvida sobre a bancada de madeira, acionada por um motor DC .	16
4.4	Fluxo de um controlador PID . . . . .	17
4.5	Sensor de proximidade e roda indutiva acoplada ao eixo . . . . .	18
4.6	Valores de taxa esperados e obtidos para o ensaio com melhor desempenho, com constantes $K_p = 500$ , $K_i = 200$ e $K_d = 50$ e erro de 0,0439 . . . . .	19
4.7	Valores de taxa esperados e obtidos para o ensaio com pior desempenho, com constantes $K_p = 200$ , $K_i = 35$ e $K_d = 20$ e erro de 0,0773 . . . . .	19
4.8	Cenários da estratégia pare-e-espere . . . . .	20
5.1	Mapa gerado para validação do sistema, visualizado através do <i>software</i> descrito na Seção 3.3 . . . . .	22

5.2	Aplicação esperada e desejada em uma aplicação variável, com taxas de 0 a 3.000 <i>kg/ha</i> . . . . .	23
5.3	Uso de processamento do dispositivo em razão do tempo (as amostras <i>t</i> foram coletadas de 5 em 5 segundos) . . . . .	24
5.4	Uso de memória do dispositivo em razão do tempo (as amostras <i>t</i> foram coletadas de 5 em 5 segundos) . . . . .	24
B.1	Esquemático do sistema em visualização <i>breadboard</i> , uma cópia interativa do arquivo está disponível junto ao código-fonte do <i>firmware</i> . . . . .	31

# Lista de Tabelas

3.1	Exemplo de estrutura do arquivo de atributos para aplicação de calcário líquido	10
A.1	Formato das mensagens . . . . .	27
A.2	Operações suportadas . . . . .	29

# Lista de Abreviaturas e Siglas

AP	Agricultura de Precisão
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i> - Sistema de Navegação Global por Satélite
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
HTTP	<i>Hypertext Transfer Protocol</i> - Protocolo de Transferência de Hipertexto
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i> - Notação de Objetos JavaScript
LED	<i>Light Emitting Diode</i> - Diodo Emissor de Luz
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i> - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada
PID	Controlador Proporcional Integral Derivativo
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> - Modulação por Largura de Pulso
RFC	<i>Request for Comments</i> - Pedido de Comentários
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i> - Raiz Quadrada do Erro Médio
RPM	Rotações por Minuto
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i> - Protocolo de Controle de Transmissão
VRT	<i>Variable Rate Technology</i> - Tecnologia de Aplicação em Taxa Variada
WGS	<i>World Geodetic System</i> - Sistema Geodésico Mundial

# Conteúdo

<b>Lista de Figuras</b>	<b>vi</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>viii</b>
<b>Lista de Abreviaturas e Siglas</b>	<b>ix</b>
<b>Sumário</b>	<b>x</b>
<b>Resumo</b>	<b>xii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
<b>2 Tecnologia de Aplicação à Taxa Variada</b>	<b>4</b>
<b>3 Mapas de Prescrição</b>	<b>7</b>
3.1 Shapefile . . . . .	7
3.2 Padrão de Atributos . . . . .	9
3.3 Visualização dos Mapas . . . . .	10
<b>4 Plataforma de Hardware e Aplicativo Móvel</b>	<b>12</b>
4.1 Aplicativo . . . . .	12
4.2 Plataforma de Hardware . . . . .	15
4.2.1 Controle Proporcional Integral Derivativo . . . . .	16
4.3 Protocolo de Comunicação . . . . .	20
<b>5 Testes e Resultados</b>	<b>22</b>
5.1 Desempenho . . . . .	23
<b>6 Conclusão</b>	<b>25</b>
<b>A Protocolo de Comunicação</b>	<b>27</b>
A.1 Definições . . . . .	27
A.2 Formato . . . . .	27
A.3 Assinatura . . . . .	28

A.4	Versão . . . . .	28
A.5	Identificador . . . . .	28
A.6	Operação . . . . .	28
A.7	Dados . . . . .	29
<b>B</b>	<b>Esquemático de Hardware</b>	<b>31</b>
	<b>Referencias Bibliográficas</b>	<b>32</b>

# Resumo

A agricultura de precisão vem pouco a pouco deixando de ser um diferencial competitivo para tornar-se um padrão industrial. Deste crescente desenvolvimento, nascem dificuldades que precisam ser transpostas a fim de possibilitar o acesso a sua implementação ao pequeno, médio e grande produtor rural. Uma destas dificuldades é a implementação de tecnologias que permitam aplicação controlada de insumos, ou seja, a aplicação em taxa variável, de forma viável e eficaz. Este trabalho apresenta a implementação de um sistema de aplicação de insumos à taxa variável genérico, compatível com maquinários agrícolas novos e antigos, insumos sólidos e líquidos, baseado no uso de um *smartphone*. Para isso, foi desenvolvida uma aplicação *desktop*, que permite a visualização de mapas de prescrição de insumos em formato GeoJSON e Shapefile, um aplicativo Android, responsável pelo controle sem fio da aplicação e um dispositivo embarcado, acoplável ao implemento, com o papel de unidade de controle. O sistema foi validado utilizando uma miniatura de esteira, cuja velocidade de rotação responde em função da velocidade de deslocamento e a taxa a ser aplicada naquela posição geográfica, obtendo-se assim uma simulação do que ocorreria dentro do maquinário. O sistema apresentou uma solução de taxa variável eficiente e economicamente viável, sem que seja necessária a aquisição de um novo maquinário ou a adição de mais um console na cabine.

**Palavras-chave:** Agricultura de Precisão, Aplicativos Móveis, Dispositivos Embarcados

# Capítulo 1

## Introdução

O conceito de Agricultura de Precisão (AP) foi definido de diversas formas ao longo dos anos [Sousa, Lopes e Inamasu 2014]. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA: “Agricultura de Precisão é um sistema de gerenciamento agrícola baseado na variação espacial e temporal da unidade produtiva, e visa ao aumento de retorno econômico, a sustentabilidade e a minimização do efeito ao ambiente” [Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 2017]. Dentre as motivações da AP, pode-se citar as legislações ambientais, cada vez mais rigorosas, a preocupação mundial em relação ao uso excessivo de agroquímicos e o retorno econômico dela proveniente [Zhang, Wang e Wang 2002].

A AP não é meramente uma nova tecnologia, mas também uma filosofia de gerenciamento, fundamentada na existência da variabilidade dentro de uma unidade mínima de manejo agrícola. Esta variabilidade está associada a fatores como diferentes solos, topografia ou mesmo disponibilidade de água [Saraiva, Cugnasca e Hirakawa 2000]. Das muitas carências hoje vivenciadas no setor agrícola, como carência de mão de obra, restrição de área de cultivo e sustentabilidades econômica, ambiental e social podem ser contornadas através da aplicação de sistemas de automação em áreas como máquinas e implementos agrícolas, irrigação, criadouros e processamento, transporte e armazenamento de produtos agrícolas. A AP tem por conceito buscar esta automação através da eletrônica embarcada, conjunto de sistemas eletrônicos que possuem *hardware* e *software* para aquisição, processamento, armazenamento e comunicação de dados [Sousa, Lopes e Inamasu 2014].

As quatro etapas básicas da AP são a coleta de dados, gerenciamento de informação, aplicação localizada ou variável e avaliação de resultados [Saraiva, Cugnasca e Hirakawa 2000]. A

coleta de dados pode ocorrer de duas formas: de maneira prévia, gerando informações georreferenciadas de aplicação, ou em tempo real, à medida que a aplicação de fato ocorre. Deve-se frisar que foi efetivamente a partir da entrada em operação plena e do barateamento da tecnologia de Sistema de Posicionamento Global (GPS) que a AP passou a ter uma real viabilidade prática e econômica [Saraiva, Cugnasca e Hirakawa 2000]. No gerenciamento de informação os dados são tratados, normalizados e convertidos visando a remoção de ruídos e a obtenção de compatibilidade com um determinado equipamento. Na aplicação, os dados são carregados no sistema do maquinário agrícola e utilizados no despejo de algum insumo, seja um fertilizante, herbicida, semente, etc. Por fim, os resultados são avaliados em relação ao retorno financeiro e/ou ambiental alcançado.

Uma das chaves da AP é a exploração da variabilidade. As variabilidades que possuem influência significativa na produtividade agrícola podem ser categorizadas em seis grupos [Zhang, Wang e Wang 2002]: Produção, terreno (topografia, elevação, etc.), solo (composição, fertilidade), plantas (tamanho, densidade, etc.), anomalias (pragas, doenças, vento) e gerenciamento (taxa de semeadura, aplicação de fertilizantes, pesticidas e irrigação). A indústria norte-americana foi uma das pioneiras na AP, trazendo consigo o conceito de Variable Rate Technology (VRT), em português, Tecnologia de Aplicação de Insumos à Taxa Variada [Pereira 2008], que consiste na variação de aplicação de agroquímicos, sementes e fertilizantes, explorando assim a variabilidade de gerenciamento.

Diversos autores vêm explorando a variabilidade para o aperfeiçoamento da AP. Segundo Zhang *et. al.* (2002), as seguintes barreiras precisam ser transpostas para que a mesma seja amplamente difundida: o excesso de dados, desenvolvendo-se ferramentas de integração, sistemas especialistas e de apoio à decisão; a falta de procedimentos e estratégias racionais na determinação de requisitos para implementação da AP; o custo e dificuldade na coleta de dados; e a falta de canais de compartilhamento das tecnologias desenvolvidas, isto é, a difusão da pesquisa na indústria e academia [Zhang, Wang e Wang 2002].

Hoje em dia as máquinas agrícolas já possuem mecanismos de fábrica que possibilitam a aplicação em taxa variada. O objetivo deste trabalho é o desenvolvimento uma solução VRT que possa ser incorporada sob certas condições a implementos que possuam ou não essa capacidade, controlada por *smartphone*. O *smartphone*, através de informações georreferenciadas obtidas

previamente, deve controlar a aplicação através de uma interface sem fio com um dispositivo embarcado instalado no maquinário. Através do cruzamento de informações como velocidade de deslocamento e posição geográfica, é possível então determinar e controlar a taxa de aplicação de insumos de forma variada.

Este trabalho está organizado da seguinte forma: O Capítulo II apresenta uma introdução à VRT. O Capítulo III descreve os mapas de prescrição, seus formatos e características. O Capítulo IV descreve a plataforma de *hardware* desenvolvida para atuação no maquinário agrícola e o aplicativo responsável por controlá-la. O Capítulo V apresenta os testes e resultados obtidos com o desenvolvimento do sistema. Por fim, o Capítulo VI encerra o trabalho trazendo as conclusões finais e trabalhos futuros.

## Capítulo 2

# Tecnologia de Aplicação à Taxa Variada

Tecnologias VRT são aplicadas a máquinas agrícolas para permitir aplicação controlada de insumos (fertilizantes, pulverizantes, etc.) ou ainda para permitir o controle de plantio (espaçamento, quantidade de sementes, etc.). Normalmente, tais tecnologias necessitam de um controle automático de velocidade e receptor do tipo Global Navigation Satellite System (GNSS), em português, Sistema de Navegação Global por Satélite, bem como contam com um sistema computacional de apoio [Sousa, Lopes e Inamasu 2014]. A Figura 2.1 apresenta um exemplo de sistema VRT. É comum que mecanismos de aplicação à taxa variável também possuam um monitor ou barra de luzes, permitindo visualização em tempo real da taxa sendo aplicada em relação à localização geográfica [Serviço Nacional de Aprendizagem Rural 2012]. Tais tecnologias utilizam determinadas fontes de informação para controle da aplicação local, podendo estas fontes serem baseadas em mapas, através do uso do GPS para geração de mapas de prescrição, que definem a variabilidade de aplicação de insumos ou agroquímicos em determinadas porções geográficas, ou *on-the-go*, mensurando no momento da aplicação a quantidade que deve ser aplicada através de sensores em tempo real [Pereira 2008, Zhang, Wang e Wang 2002].

Para uma abordagem com mapas, é necessário previamente obter as informações georreferenciadas através de análises de solo, mapas de produtividade ou imageamento via satélite, associados a um tratamento geoestatístico. Após a aquisição dos mapas, estes são carregados no maquinário, geralmente através de um computador de bordo que, através da posição geográfica obtida por um sistema de navegação tratará de determinar a taxa de aplicação. Já para abordagens *on-the-go*, as máquinas ou implementos devem estar dotados de sensores tais como infravermelho, ultrassom e/ou fotoelétrico, possibilitando a estimativa de aplicação demandada na área sendo percorrida.

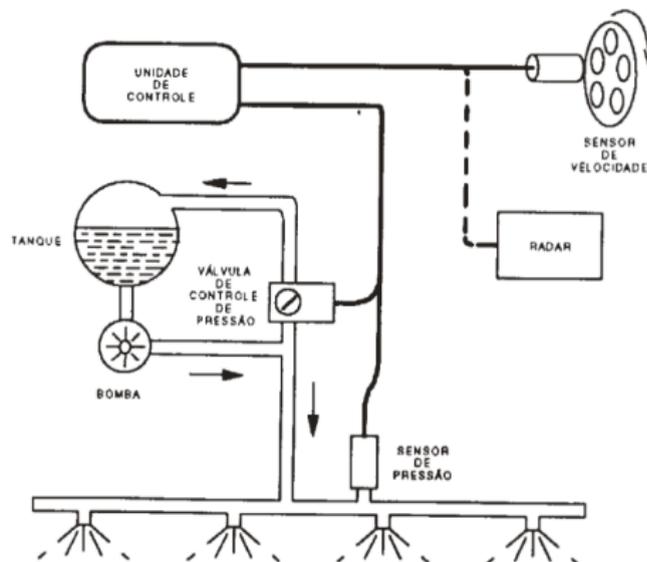


Figura 2.1: Um exemplo de sistema VRT [Saraiva, Cugnasca e Hirakawa 2000]

O conceito de aplicação à taxa variável hoje já se encontra bastante difundido, presente por meio de itens de série em maquinários agrícolas diretamente da fábrica, através de sensoria-mento avançado, controladores de vazão de insumos e computadores de bordo. Todavia, uma dificuldade ainda existente é a adaptação do conceito para maquinários mais antigos ou não compatíveis com as ferramentas presentes no mercado. Muitas das tecnologias são fechadas, de propriedade de grandes montadoras de tratores e implementos e, portanto, de difícil acesso aos pequenos e médios agricultores, de modo que o desenvolvimento de tecnologias abertas e de alta portabilidade constituem desafios.

Mercaldi (2012) apresentou um mecanismo de injeção de agroquímicos à taxa variada uti-lizando uma bancada de pulverização, empregando um controlador proporcional integral deri-vativo (PID) *fuzzy* através do *software* de simulação LabVIEW<sup>1</sup> e do microcontrolador cRIO-9073<sup>2</sup>, ambos da National Instruments [Mercaldi 2012].

Tangerino (2009) apresentou aplicações de dispositivos embarcados na VRT e utilizou sen-sores Crop Circle<sup>3</sup> para sensoriar o NDVI - Normalized Difference Vegetation Index, em portu-guês, Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, correlacionando a influência do mesmo

<sup>1</sup><http://www.ni.com/pt-br/shop/labview.html>

<sup>2</sup><http://www.ni.com/pt-br/support/model.crio-9073.html>

<sup>3</sup><https://hollandscientific.com/portfolio/crop-circle-ac-470/>

na altura da cana-de-açúcar para uso em sistemas de aplicação à taxa variada. Para aplicação em campo, utilizou também sensores de distância ultrassom, um microcontrolador PIC18F258 programado em linguagem C e um sistema de GPS AG-114<sup>4</sup> [Tangerino 2009].

Wang *et. al.* (2001) desenvolveu um sistema de visão computacional *on-the-go*, capaz de detectar ervas daninhas e controlar um aplicador de herbicidas. Para a unidade ótica de detecção, utilizou seis fototransistores, cujos sinais foram convertidos em tensão (*volts*) e filtrados por um filtro do tipo passa-baixa para redução de ruídos. Além disso, utilizou um *datalogger* CR23x<sup>5</sup> como unidade central de controle, coletando sinais analógicos, classificando-os e enviando sinais de controle para a unidade pulverizadora. Por fim, a unidade pulverizadora foi formada por duas válvulas solenoides controladas por Pulse Width Modulation (PWM), em português, Modulação da Largura de Pulso e uma unidade GPS com o propósito de aferir a velocidade do trator para o controle dos bocais, auxiliando também na construção de um mapa para visualização posterior da aplicação [Wang et al. 2001].

---

<sup>4</sup><http://www.trimble.com/agriculture/index.aspx>

<sup>5</sup><https://www.campbellsci.com.br/cr23x>

# Capítulo 3

## Mapas de Prescrição

Em um sistema VRT baseado em mapas, os dados de entrada são produzidos por meio de uma análise prévia, obtida através de uma investigação das variabilidades presentes na zona de cultivo. Algumas formas de investigação destas variabilidades são as análises química e física do solo, estimando sua fertilidade e compactação, respectivamente; análise biológica, identificando a presença de nematoides; sensoriamento direto, estimando a condutividade elétrica do solo; e sensoriamento remoto, analisando o espectro de refletância das superfícies [Serviço Nacional de Aprendizagem Rural 2012].

A tecnologia proposta por este trabalho não se atém especificamente a um tipo único de variabilidade, propondo um sistema de controle genérico, desde que os mapas estejam condizentes com o padrão determinado. Para o formato de entrada dos mapas, optou-se pelo ESRI Shapefile, devido à sua ampla difusão como formato de representação geoespacial desde os anos 1990, bem como o GeoJSON, formato de dados mais recente destinado à *web*.

### 3.1 Shapefile

Segundo sua especificação, arquivos Shapefile armazenam dados geométricos não topológicos, bem como atributos relacionados a estes dados [ESRI 1998]. Neste contexto, os dados geométricos delimitam porções de área de uma propriedade agrícola e os atributos relacionam taxas de aplicação direcionadas à estas porções.

Um mapa no formato Shapefile é constituído de três arquivos:

- Principal (*.shp*)
- Índices (*.shx*)

- Atributos (.dbf)

No arquivo principal, cada registro descreve uma forma geométrica como um ponto ou uma lista de vértices. Um polígono, por exemplo, consiste de um ou mais anéis (sequências de quatro ou mais vértices formando um ciclo fechado sem auto-interseções), sendo a orientação do anel o que determina se o mesmo delimita o interior de um polígono ou um "buraco" no mesmo. A Figura 3.1 demonstra um exemplo de polígono com dois anéis: o anel interior, representado no formato anti-horário delimita um buraco dentro do polígono exterior, representado no sentido horário. Uma forma mais intuitiva de pensar sobre a ordem de representação dos vértices é a de que um observador, andando por sobre as arestas de um anel na ordem em que os vértices estão dispostos, terá sempre o interior do polígono à sua direita.

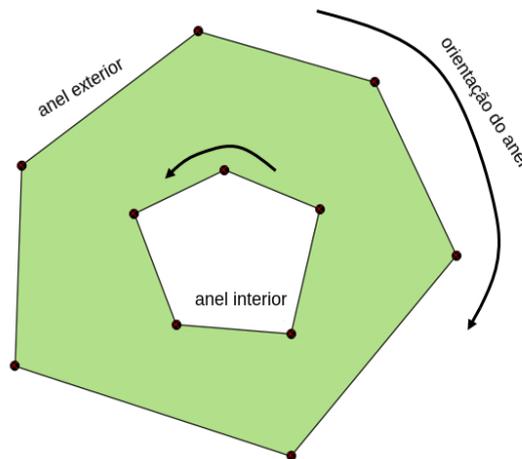


Figura 3.1: Representação poligonal de um Shapefile, adaptado de [SAP 2016]

O arquivo de índices não armazena nenhuma informação geométrica, mas sim é utilizado para guiar a leitura do arquivo principal. Isso é possível devido ao uso de registros de tamanho fixo, contendo a distância de cada registro até início do arquivo. Esta distância é expressa em número de palavras de 16 bits do início do arquivo até o primeiro byte do cabeçalho do registro.

Por fim, o arquivo de atributos é responsável por armazenar, na mesma ordem do arquivo principal, parâmetros para cada registro. O formato utilizado (.dbf) remete ao dBASE<sup>TM1</sup>, banco de dados presente no mercado desde os anos 1980.

---

<sup>1</sup><http://www.dbase.com/>

O formato especificado possui diversos problemas. Talvez o principal deles seja o fato de utilizar três arquivos diferentes para representar uma informação, usualmente utilizando-se de alguma ferramenta de compressão como *zip*. Além disso, o formato de armazenamento de atributos, dBASE IV, permite no máximo 255 campos para cada registro, sendo os identificadores de cada registro de no máximo 10 caracteres [Brown 2003]. Estas e outras limitações levaram ao surgimento de movimentos tais como o "Switch from Shapefile" [Cepicky 2017], que defendem o uso de outras ferramentas em alternativa ao Shapefile, em vista de sua controversa popularidade.

Uma alternativa ao Shapefile é o GeoJSON, formato aberto definido pelo Request for Comments (RFC) 7946, em português, Pedido de Comentários, da Internet Engineering Task Force (IETF) [Internet Engineering Task Force 2016]. Este define um padrão para representação de dados geométricos, com suporte ao formato cartográfico World Geodetic System (WGS) 1984. Ao contrário do Shapefile, o GeoJSON utiliza um único arquivo contendo geometrias e atributos, em formato textual, sendo destinado principalmente a serviços da *web* servidos através de Hypertext Transfer Protocol (HTTP). O suporte à geometrias é muito semelhante ao Shapefile, contendo pontos, linhas, polígonos, multi-linhas, multi-pontos, multi-polígonos e coleções geométricas. Uma consideração importante a ser feita em relação ao GeoJSON, contudo, é o tamanho dos arquivos resultantes, por se tratar de um formato textual. A precisão das coordenadas possui significativo impacto no tamanho em bytes do mesmo, o aumento da precisão WGS84 de 6 para 15 casas decimais, por exemplo, pode dobrar seu tamanho.

Neste trabalho optou-se por suportar ambos os formatos especificados, Shapefile e GeoJSON. A decisão deu-se com base na ampla difusão deste primeiro, inclusive no mercado da AP, em conjunto com a tendência de uso cada dia mais frequente do segundo, considerando também fato de que os formatos podem ser convertidos entre si.

## 3.2 Padrão de Atributos

Como mapas de prescrição oriundos de diferentes origens podem conter diferentes representações para os atributos de taxa variável, estipulou-se um padrão próprio para o sistema. Exige-se apenas um atributo por geometria, denominado *rate*, em português, taxa. Também é considerado como opcional o atributo *name* (nome) para identificar uma região na tela do

sistema, demais atributos são simplesmente ignorados, podendo coexistir sem nenhuma aplicação.

O atributo de taxa é representado por um número real, conforme a especificação do dBASE, e não identifica uma medida, que é genérica. Na tela do sistema é que será especificada qual a medida que o aplicador deverá considerar. Por exemplo, suponha que uma região possua a taxa especificada em 3, 14. No *software*, poderá ser indicado no momento da aplicação se este valor refere-se a *kg/ha* ou *ℓ/ha*, assim permitindo maior versatilidade. A Tabela 3.1 exibe um exemplo de taxas de aplicação para calcário líquido em três talhões. Neste exemplo, poderia ser adotado no aplicativo a medida de aplicação por *ℓ/ha*.

Tabela 3.1: Exemplo de estrutura do arquivo de atributos para aplicação de calcário líquido

Geometria (índice)	RATE	NAME
0	3, 5	Safra 2018 Propriedade 1
1	4, 5	Safra 2018 Propriedade 1
2	3, 86	Safra 2018 Propriedade 1

### 3.3 Visualização dos Mapas

Antes de carregar os arquivos de entrada no aplicativo móvel, pode ser útil visualizá-los no computador, verificando o que os mapas estão representando. Assim, para permitir esta verificação prévia em um computador pessoal, desenvolveu-se um software utilizando a linguagem JavaScript [ECMA International 2015] e algumas bibliotecas de uso aberto, tais como: Electron [Electron 2018], que permite o desenvolvimento de aplicações JavaScript (nativas de navegadores *web*) para plataformas *desktop*, tais como Windows, Linux e Mac OS; Vue [You 2018], que facilita e acelera o desenvolvimento na linguagem através da componentização de elementos; e OpenLayers [OpenLayers 2018], que permite a manipulação e visualização de dados geométricos na linguagem. Como o OpenLayers trabalha nativamente com o GeoJSON, também foi necessária uma ferramenta de conversão do formato Shapefile, sendo utilizada a biblioteca Shapefile.js [Metcalf 2017].

O software toma como entrada um arquivo comprimido *zip*, contendo os três arquivos Shapefile, ou então um arquivo GeoJSON, e permite a exibição em tela do mapa em conjunto com as taxas de prescrição associadas. Para que os mapas não sejam visualizados sobre uma tela vazia

e visando melhorar a qualidade do sistema, incluiu-se uma camada com o mapa do planeta terra, obtida através do OpenStreetMap, um mapa desenvolvido colaborativamente por contribuidores do mundo inteiro [OpenStreetMap Foundation 2018]. A tela principal do sistema desenvolvido é exibida na Figura 3.2: áreas em vermelho se aproximam da maior taxa do mapa, áreas em verde se aproximam da menor taxa do mapa e, ao clicar sobre qualquer parte exibe-se a taxa à ser aplicada naquele ponto. É possível aumentar e diminuir o *zoom* e o arquivo de entrada pode conter múltiplas regiões de aplicação.



Figura 3.2: Sistema desenvolvido para visualização dos mapas

# Capítulo 4

## Plataforma de Hardware e Aplicativo Móvel

Para o sistema de atuação, responsável por controlar a dosagem de aplicação no maquinário agrícola, optou-se pelo Arduino<sup>1</sup>, um microcontrolador flexível, de baixo custo e ideal para rápida prototipagem em diversos cenários.

Como plataforma móvel, optou-se pelo Android<sup>2</sup>, devido à qualidade e disponibilidade de sua documentação em diversos idiomas, bem como sua ampla difusão no mercado brasileiro, possuindo cerca de 93% deste, em março de 2018, e mais da metade desde 2012 [Kantar 2018]. A comunicação entre as plataformas Android e Arduino é feita via Bluetooth<sup>3</sup>, um protocolo de comunicação sem fio de baixo consumo energético.

### 4.1 Aplicativo

O aplicativo móvel desenvolvido visa permitir o controle da aplicação em taxa variável sem a necessidade de instalar um novo console na cabine do maquinário. Além disso, sua concepção vem de encontro com o fato de que hoje grande parte dos brasileiros já está habituada ao uso do celular, não só com o propósito de efetuar chamadas, mas também como ferramenta de trabalho.

A Figura 4.1 exibe o fluxo de navegação do aplicativo. Ao abrir o software, o usuário irá se deparar com uma tela vazia de boas-vindas (Figura 4.2(a)), na qual será solicitado que escolha um arquivo de mapa para prosseguir. Para tanto, é necessário que o arquivo esteja presente no telefone, sendo transferido por meio de um cabo, cartão de memória, internet ou mesmo

---

<sup>1</sup><https://www.arduino.cc>

<sup>2</sup><https://www.android.com>

<sup>3</sup><https://www.bluetooth.com>

Bluetooth. Todos os arquivos com extensão ".json" e ".geojson" presentes no celular são listados sem que o usuário necessite explorar seus arquivos para encontrá-los, pois todos os diretórios são automaticamente varridos (Figura 4.2(b)).



Figura 4.1: Fluxo de navegação do aplicativo móvel

Ao selecionar um mapa da lista, passa-se para o passo seguinte, onde é necessário ativar o mecanismo Bluetooth no dispositivo. Nesta etapa são exibidos os dispositivos próximos que estão aceitando conexões (Figura 4.2(c)). Deve-se, portanto, selecionar na lista a unidade de controle acoplada ao implemento, que será discutida adiante, para que a conexão seja estabelecida e a aplicação do insumo possa ser iniciada.

Uma vez selecionado o mapa e estabelecida a conexão com a unidade de controle, o usuário deve informar os parâmetros de aplicação, como a medida de aplicação, na qual deve-se selecionar em uma lista se a serão utilizados quilos por hectare, litros por hectare, dentre outros, e a largura de trabalho, ou seja, qual a largura do implemento que está sendo utilizado.

Por fim, a tela com o mapa e a localização do usuário é apresentada (Figura 4.2(e)), onde o usuário pode iniciar e pausar a aplicação, de modo que o dispositivo passa a coordenar a unidade de *hardware* para que controle a vazão no implemento.

A tela final é onde o usuário estará concentrado na maior parte do tempo. Nesta, é exibido

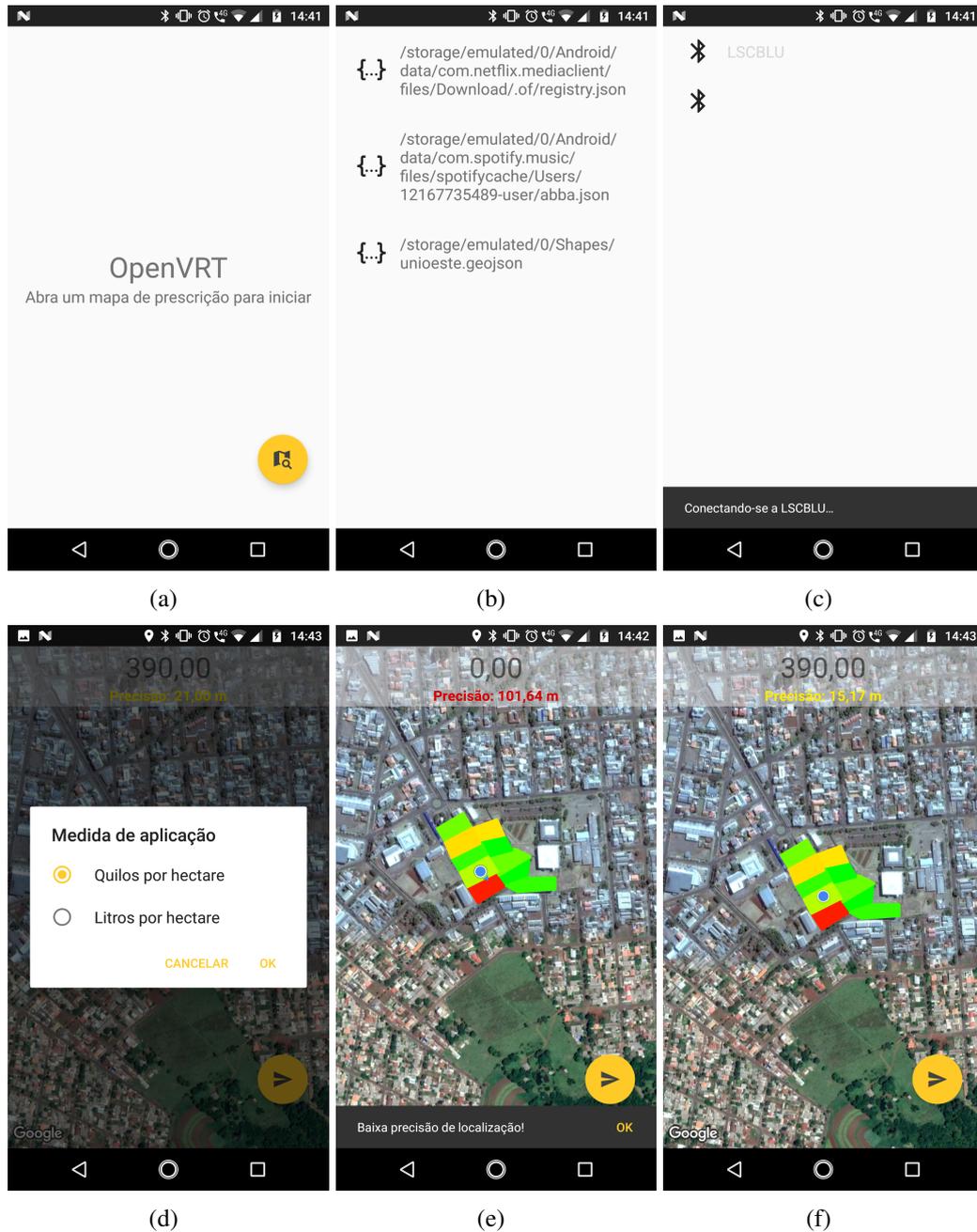


Figura 4.2: Telas do aplicativo. Em (a), o usuário deve selecionar o botão para iniciar o fluxo. Em (b), são listados os arquivos *json* do dispositivo, para que o usuário selecione um mapa. Em (c), são listados os dispositivos Bluetooth próximos, para que o usuário selecione a plataforma de *hardware*. Em (d), um diálogo solicita ao usuário a medida de aplicação a ser adotada. Em (e), o mapa é exibido com a localização do usuário e uma informação de que há pouca precisão de GPS. Em (f) o mapa é exibido com um alerta de precisão não ideal.

um mapa obtido por satélite e, em tempo real, a localização do usuário sobre o mapa, através do sistema de GPS do dispositivo. Isso é executado por meio de uma *thread*, que monitora constantemente a localização do usuário. Sempre que esta localização é atualizada, a cada 500 ms, calcula-se qual polígono contém o ponto atual e qual a taxa esperada neste polígono. Também são exibidas duas importantes informações: a taxa de aplicação na localização atual do usuário, ou seja, o que o dispositivo móvel está enviando para o sistema embarcado, e a precisão com que a localização via GPS está sendo obtida. Sempre que esta precisão atinge valores maiores do que 10 metros, a informação é sinalizada em amarelo, representando um alerta (Figura 4.2(f)). Já em situações onde a precisão atinge valores maiores do que 20 metros, a informação é sinalizada em vermelho, representando um problema, e uma mensagem de informação é exibida ao usuário (Figura 4.2(e)). Alguns dos principais fatores de degradação da acurácia do sinal de GPS são: bloqueio do sinal por prédios, pontes, árvores, dentre outros; o uso em ambientes internos ou subterrâneos e a reflexão do sinal por construções [GPS.gov 2017]. A precisão de dispositivos móveis em ambientes abertos tende a ficar em torno de três metros [Shaner 2013].

## 4.2 Plataforma de Hardware

O dispositivo embarcado, responsável por controlar a aplicação de insumos, foi construído utilizando a placa microcontroladora Arduino Mega 2560, baseada na ATmega 2560 [Microchip Technology 2018]. A placa dispõe de 54 pinos de entrada e saída digital, 16 pinos analógicos e 4 portas seriais em *hardware* [Arduino 2018]. Para a comunicação Bluetooth, foi utilizado um módulo HC-05. O aplicativo móvel, ao comunicar-se com o dispositivo embarcado, informa a taxa de aplicação à medida em que o telefone se desloca na propriedade, de modo que a placa controla a vazão no atuador.

Para a validação do sistema, uma esteira foi construída sobre uma bancada de madeira (Figura 4.3) utilizando um motor DC. O propósito da esteira é simular de forma miniaturizada a rosca dosadora em um sistema de aplicação de fertilizantes sólidos. O motor elétrico é controlado por uma placa de expansão acoplada ao Arduino, denominada Adafruit Motor Shield<sup>4</sup>. Esta placa também permite uma prototipagem mais rápida no processo de implementação de motores. Não foi desenvolvido um protocolo de calibração para a esteira, ao invés disso, foram

---

<sup>4</sup><https://learn.adafruit.com/adafruit-motor-shield>

adotados valores fixos normalizados entre a rotação da mesma e valores fictícios de vazão, considerando uma correlação linear onde a inércia da esteira é igual ao despejo de 0 quilograma por segundo ( $kg/s$ ) e a rotação máxima, cujo valor observado foi de 1.344 rotações por minuto (RPM), igual a  $1 kg/s$ , considerando uma largura de trabalho de  $1 m$ . Um método de calibração real teria de considerar a massa de insumo despejada em um período fixo de tempo a uma dada rotação, obtendo-se uma equação que tenha como entrada a rotação e como saída a vazão em quilogramas por segundo.

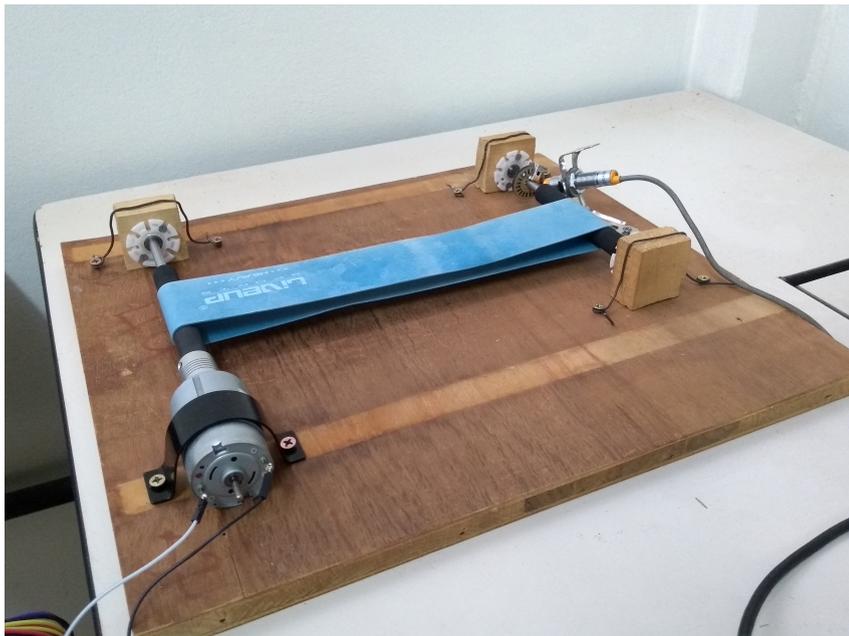


Figura 4.3: Esteira desenvolvida sobre a bancada de madeira, acionada por um motor DC

#### 4.2.1 Controle Proporcional Integral Derivativo

A fim de obter um controle preciso da vazão simulada pela esteira, foi implementado um controlador proporcional integral derivativo (PID) no *firmware* do dispositivo. Esta classe de controlador é amplamente utilizada na robótica e automação industrial, possuindo uma boa performance, estrutura simples e especialmente útil quando não se é possível ou se é muito complexo obter um modelo matemático exato para a função de entrada e saída [Leong, Low e Ooi 2012], o que é o caso deste trabalho, já que seria muito complexo determinar a vazão de saída exata considerando variáveis como carga sobre a esteira, velocidade de deslocamento e fatores mecânicos como o atrito dos eixos de rotação.

O funcionamento do controlador PID baseia-se na constante leitura da saída do sistema e retroalimentação do sinal de entrada, visando manter um valor de saída ideal desejado, denominado *setpoint* (Figura 4.4). A ação proporcional calcula a diferença entre o sinal de entrada e o *setpoint*, ou seja, o erro, produzindo um valor corretivo proporcional (multiplicado) a este erro. A ação integral visa regular a velocidade de resposta do sistema, evitando medidas corretivas muito drásticas (também chamadas de *overshoot*), por meio da integral do erro ao longo do tempo<sup>5</sup>. Por fim, a ação derivativa trabalha em cima da variação da saída, observando quão rápido o processo varia e aplicando medidas corretivas proporcionais à esta variação, mitigando assim a oscilação da saída [Electronics Hub 2015].

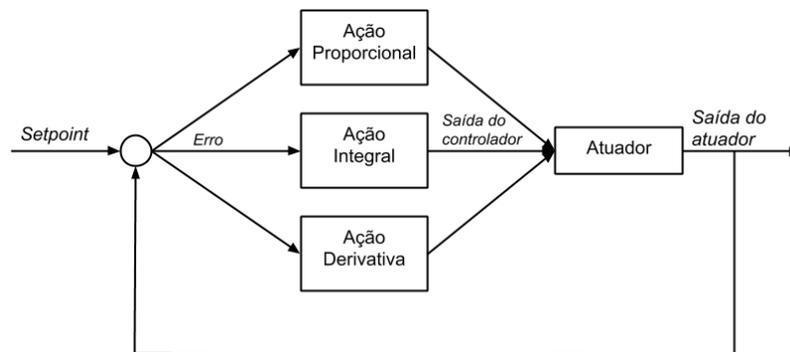


Figura 4.4: Fluxo de um controlador PID

Para possibilitar o controle do sistema de maneira proporcional, integral e derivativa, foi necessário aferir a saída de insumos da esteira, determinando o erro em relação à taxa esperada, oriunda do mapa de prescrição e transmitida via Bluetooth do aplicativo para o dispositivo embarcado. Para mensurar a rotação da esteira, utilizou-se um sensor de proximidade indutivo modelo LJ12A3-4-Z/BY, cujo alcance de detecção vai de 2 a 4mm. Uma pequena roda de madeira com um pequeno metal encaixado foi anexada a um dos eixos (Figura 4.5), de modo que a cada rotação o sensor indutivo é acionado. Somando-se as rotações em um intervalo de 5 segundos e multiplicando-as por 12, obtêm-se então as rotações por minuto naquele período.

A velocidade de rotação determina a quantidade despejada em quilogramas por segundo. Contudo, a aplicação na propriedade agrícola deve utilizar uma medida em área, respeitando os valores do mapa de prescrição. Adotou-se, como entrada para o atuador, medidas em qui-

<sup>5</sup>Deve-se notar que, considerando um mecanismo de aplicação em taxa variável real, uma mudança muito acentuada na taxa de vazão pode causar danos ao equipamento.



Figura 4.5: Sensor de proximidade e roda indutiva acoplada ao eixo

logramas por hectare ( $kg/ha$ ). Assim, faz-se necessária uma terceira variável, a velocidade de deslocamento do implemento. Para tal, adotou-se um potenciômetro analógico, cujo valor varia em um intervalo de zero para completamente fechado e 1.000 para completamente aberto. Estes valores foram normalizados em uma escala de zero a 10 metros por segundo ( $m/s$ ), simulando a velocidade com que o implemento está se deslocando para calcular o erro entre o que está sendo despejado e o que espera-se despejar. Para obter a vazão atual em  $km/m^2$ , divide-se a rotação atual por 1.344, que é a maior rotação alcançável e multiplica-se pela largura de trabalho, de modo que considerando uma largura de trabalho de 1  $m$ , seria equivalente a 1  $kg/s$ . Este valor é então dividido mais uma vez, agora pela velocidade de deslocamento do implemento, obtendo-se enfim o valor em  $kg/m^2$ . Quando a rotação é zero, a taxa também é zero. Contudo, quando a rotação é diferente de zero mas a velocidade é zero, então a taxa sendo aplicada converge para o infinito, de modo que o erro será também infinito e a aplicação irá cessar imediatamente. Simplificando, obtemos a equação 4.1, onde  $r$  é a rotação por minuto,  $v$  a velocidade de deslocamento em metros por segundo e  $l$  a largura de trabalho em metros.

$$f(r, v, l) = \begin{cases} 0, & \text{se } r = 0 \\ \infty, & \text{se } v = 0 \text{ e } r > 0 \\ \frac{rl}{1344v}, & \text{senão} \end{cases} \quad (4.1)$$

O controlador PID depende também de três constantes de calibração, uma para cada ação, denominadas *tunings*:  $K_p$  (fator de ação proporcional),  $K_i$  (fator de ação integral) e  $K_d$  (fator de ação derivativa). O valor destas constantes influencia diretamente na velocidade de resposta e oscilação do sistema. Após uma série de dez ensaios, obteve-se os valores 500, 200 e 50,

respectivamente, correspondendo ao experimento que apresentou menor erro no decorrer de 60 medidas em intervalos de 5 segundos cada (Figura 4.6). O método escolhido para obtenção do erro foi o Root Mean Square Error (RMSE), em português, Raiz Quadrada do Erro Médio. Para o ensaio com melhor performance, o erro foi de 0,0439. Os ensaios foram conduzidos com velocidade de deslocamento fixa em 5  $m/s$  e a taxa esperada variando de 0 a 1.856,54  $kg/ha$  abruptamente, simulando a saída e entrada de regiões de aplicação. Os ensaios com pior desempenho foram aqueles que demoraram muito a responder e não se estabilizaram em tempo, obtendo taxas de erro como 0,0773, para um ensaio com  $K_p = 200$ ,  $K_i = 35$  e  $K_d = 20$  (Figura 4.7).

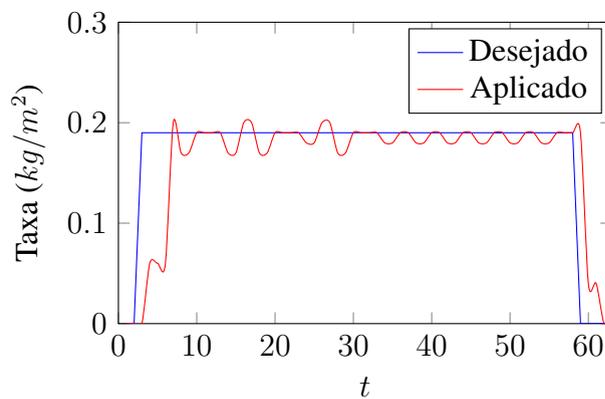


Figura 4.6: Valores de taxa esperados e obtidos para o ensaio com melhor desempenho, com constantes  $K_p = 500$ ,  $K_i = 200$  e  $K_d = 50$  e erro de 0,0439

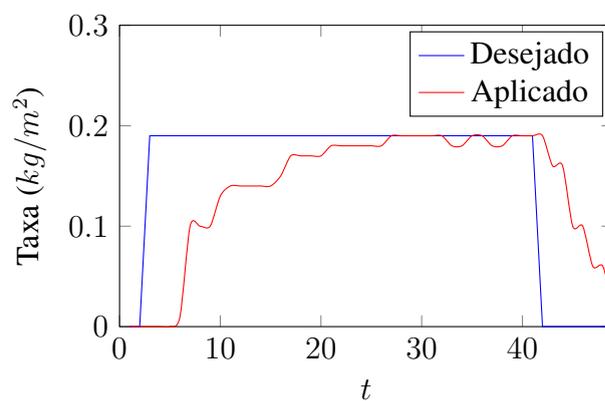


Figura 4.7: Valores de taxa esperados e obtidos para o ensaio com pior desempenho, com constantes  $K_p = 200$ ,  $K_i = 35$  e  $K_d = 20$  e erro de 0,0773

### 4.3 Protocolo de Comunicação

Visando possibilitar a integração entre o dispositivo embarcado e o *smartphone*, um protocolo de transporte com entrega garantida foi desenvolvido, baseado no Transmission Control Protocol (TCP), o protocolo majoritariamente utilizado em aplicações da internet [Internet Engineering Task Force 1981]. O protocolo desenvolvido baseia-se na estratégia "pare-e-espere", onde o transmissor envia uma informação e permanece aguardando a confirmação de recebimento do receptor. Existem três cenários possíveis nesta abordagem (Figura 4.8):

- O transmissor envia a informação e esta é confirmada pelo receptor.
- O transmissor envia a informação e esta é perdida no caminho. Ao não receber a confirmação, o transmissor envia a informação novamente.
- O transmissor envia a informação. O receptor envia a confirmação, mas esta é perdida no caminho. Ao não receber a confirmação, o transmissor envia a informação novamente.

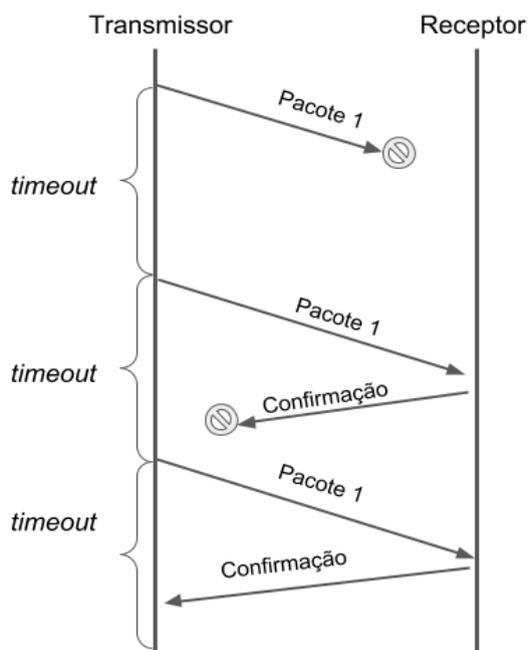


Figura 4.8: Cenários da estratégia pare-e-espere

Desta forma, estipula-se uma quantidade limite de tentativas de envio (*retries*) e um tempo limite de recebimento de confirmação (*timeout*). Ao exceder o tempo limite, a mensagem é enviada novamente. Ao excederem-se as tentativas, a mensagem é tida como não entregue e um erro deve ser exibido ao usuário.

Os detalhes adicionais do protocolo utilizado na comunicação entre o aplicativo móvel e a plataforma de *hardware* são descritos no Apêndice A.

# Capítulo 5

## Testes e Resultados

Para a validação do sistema foi utilizado o aplicativo *Mock Locations*<sup>1</sup>, que permite simular localizações e rotas virtuais no GPS do dispositivo, de modo que não é necessário percorrê-las fisicamente. Isso permitiu que o sistema fosse completamente validado em laboratório, dada a dificuldade de transporte e alimentação do mesmo, haja vista que encontra-se em uma bancada de madeira e alimentado através de uma tomada<sup>2</sup>.

Foi gerado um mapa de prescrição localizado nas redondezas da universidade, com regiões de tamanho arbitrário e taxas variando de 1.800 a 3.000 *kg/ha* (Figura 5.1).

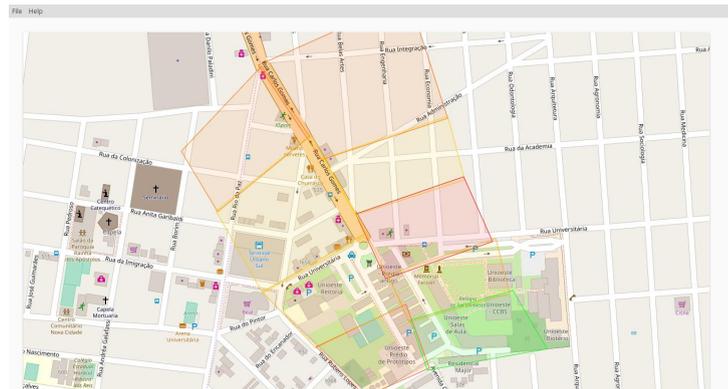


Figura 5.1: Mapa gerado para validação do sistema, visualizado através do *software* descrito na Seção 3.3

Para verificar a velocidade de resposta do dispositivo, as regiões foram percorridas a uma velocidade  $\approx 15 \text{ km/h}$  ( $4,16 \text{ m/s}$ ), algo próximo do que seria percorrido na prática, obtendo-se a Figura 5.2. Nota-se que há um período de pico, entre  $t = 60$  e  $t = 70$ , cuja aplicação desejada

<sup>1</sup><https://play.google.com/store/apps/details?id=ru.gavrikov.mocklocations>

<sup>2</sup>Um vídeo com o teste está disponível em <https://luizguilhermefr.github.io/OpenVRT>

é de  $3.000 \text{ kg/ha}$ , porém, na velocidade simulada, de  $4,16 \text{ m/s}$ , e largura de trabalho de  $1 \text{ m}$ , a aplicação máxima possível é  $\approx 2.403 \text{ kg/ha}$ . Em uma situação como essa, a única forma de aplicar a quantidade desejada é diminuindo a velocidade de deslocamento.

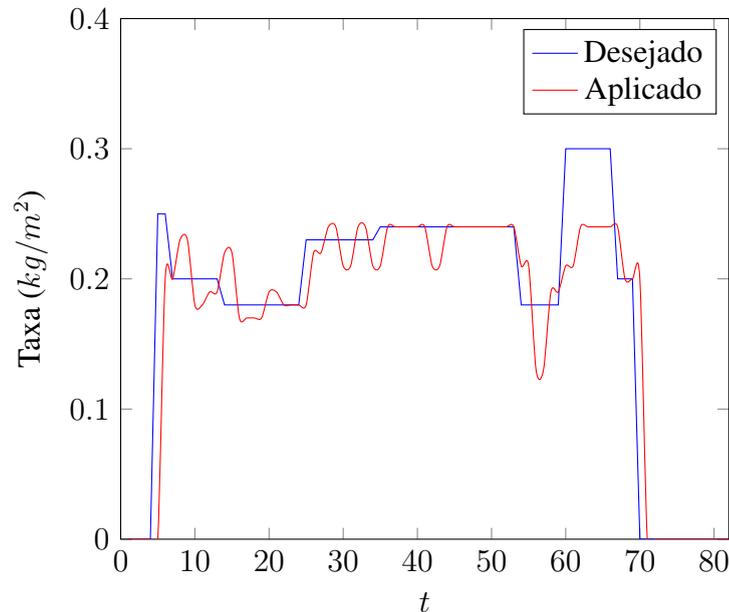


Figura 5.2: Aplicação esperada e desejada em uma aplicação variável, com taxas de 0 a  $3.000 \text{ kg/ha}$

Nota-se que o sistema correspondeu de forma adequada à variação de aplicação, embora ainda contenha oscilações inerentes ao mecanismo de retroalimentação PID e às variáveis mecânicas envolvidas no processo, como o atrito dos eixos.

## 5.1 Desempenho

Os testes foram executados em um dispositivo Motorola Moto G5S XT1792, com plataforma Android 8.1 (Oreo),  $2 \text{ gigabytes}$  de memória primária e processador com oito núcleos de  $1,4 \text{ GHz}$  cada. No dispositivo em questão, o aplicativo executou sem qualquer travamento, embora utilize recursos bastante custosos em termos de energia, como GPS de alta precisão e Bluetooth. A rede móvel também é utilizada, embora não obrigatória, para a exibição em satélite por trás do mapa desenhado. Caso o usuário não possua rede, o mapa é desenhado sobre uma tela branca. Além disso, as imagens de satélite são salvas em *cache* no dispositivo, de modo que não serão sempre baixadas conforme o usuário utiliza o aplicativo durante o dia.

As telas de apresentação, seleção de mapas e seleção de dispositivos tiveram custo irrisório de processamento e memória. Foram coletadas então amostras relativas à tela de aplicação, por ser a mais importante e sobretudo a que utiliza mais recursos. A média de uso de processamento foi de 50,19% (Figura 5.3). A média de uso de memória foi de 128,88 *megabytes* (Figura 5.4). Estes dados apontam que mesmo um dispositivo mais modesto, com menos poder de processamento e memória conseguiria executar o aplicativo sem grandes problemas.

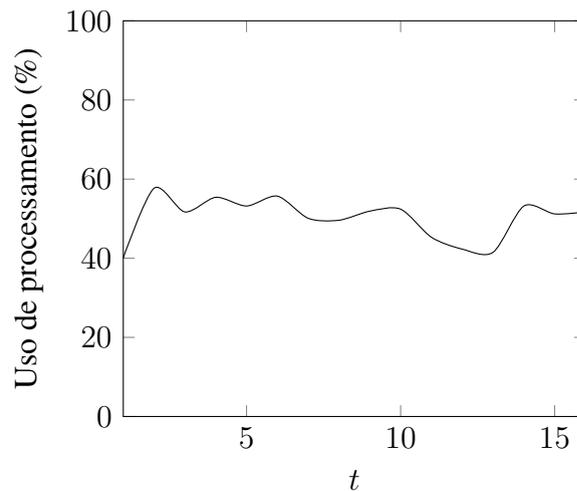


Figura 5.3: Uso de processamento do dispositivo em razão do tempo (as amostras  $t$  foram coletadas de 5 em 5 segundos)

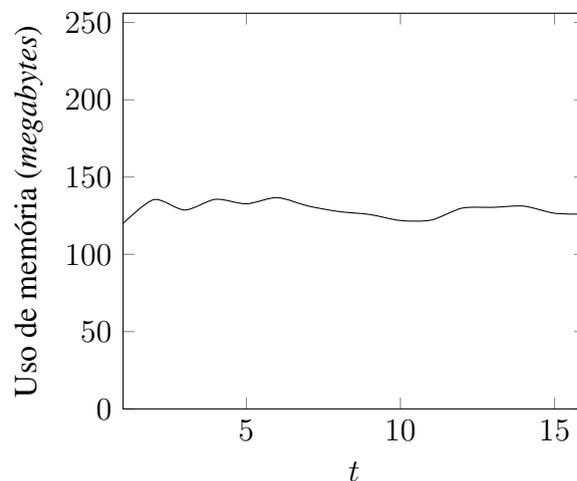


Figura 5.4: Uso de memória do dispositivo em razão do tempo (as amostras  $t$  foram coletadas de 5 em 5 segundos)

# Capítulo 6

## Conclusão

O sistema desenvolvido apresentou uma alternativa genérica para a aplicação em taxa variável em maquinários que não possuem esta capacidade, mantendo um baixo custo de implementação. Uma alternativa de mercado, possuindo computador de bordo com entrada para cartão de memória e mecanismo de aplicação hidráulico, como o Kit Taxa Variável<sup>1</sup>, da Agropioneiro, possui um valor em torno de R\$ 19.000,00. Outras soluções, como o GreenStar<sup>2,3</sup>, da John Deere, podem ser importados por mais de US\$ 4.000,00. Contendo *software* para visualização dos mapas, aplicativo móvel para controle sem fio e microcontrolador em *hardware* com Arduino, o sistema proposto poderia, ao ser adaptado para um determinado mecanismo de aplicação qualquer (sólido ou líquido), ser adquirido por um valor muito inferior, contanto que o comprador possua, ou venha a adquirir também, um *smartphone* Android.

O sistema apresentado, por ser genérico, não apresentou um mecanismo de aplicação real. Todos os testes foram efetuados utilizando uma esteira como miniatura de simulação e vazões teóricas, sem um protocolo de calibração. O *firmware* do sistema embarcado, utilizando um controlador PID efetuou o controle desta vazão teórica. Possíveis trabalhos futuros poderiam trazer mecanismos de aplicação validados em situações reais, utilizando implementos agrícolas, bem como validar diferentes procedimentos de calibração. Também seria possível sensoriar a vazão real, ao invés da rotação do sistema, determinando o erro de forma ainda mais precisa. Uma extensão do sistema poderia possibilitar a aplicação de maneira interpolada, sem a divi-

---

<sup>1</sup><http://www.mfrural.com.br/detalhe/kit-taxa-variavel-agropioneiro-243454.aspx>

<sup>2</sup><https://www.deere.com.br/pt/tecnologia-de-produtos/agricultura-de-precisao/solucoes-para-operacoes-no-campo/taxa-variada-para-liquidos-greenstar/>

<sup>3</sup><https://www.deere.com.br/pt/tecnologia-de-produtos/agricultura-de-precisao/solucoes-para-operacoes-no-campo/taxa-variada-para-solidos-greenstar/>

são da propriedade em polígonos, utilizando-se de transições mais suaves face a variabilidade da unidade de manejo. Entre os métodos conhecidos, pode-se citar o inverso do quadrado da distância, método da distância normal e krigagem ordinária [Couto, Scaramuzza e Maraschini 2002]. Por fim, estudos voltados à área da interação humano-computador poderiam efetuar uma análise da usabilidade do sistema de visualização de mapas e aplicativo móvel, com agricultores de diferentes formações.

Os códigos e instaladores do aplicativo móvel, *firmware* e visualizador de mapas estão disponíveis em <<https://luizguilhermefr.github.io/OpenVRT>>, sob a licença Mozilla Public License 2.0 (MPL), a qual garante liberdade de uso e modificação, comercial ou não, desde que se mantenha uma cópia da licença e os devidos créditos aos contribuidores junto ao produto [Mozilla 2012].

# Apêndice A

## Protocolo de Comunicação

### A.1 Definições

- **Mestre:** O dispositivo de gerência. Usualmente aplicativo móvel ou computador.
- **Escravo:** O dispositivo embarcado de aplicação.
- **Mensagem ou Pacote:** Um datagrama contendo meta-dados e alguma informação útil que necessite ser transmitida.

### A.2 Formato

O formato das mensagens entre mestre e escravo é de tamanho fixo de 24 *bytes*, divididos entre 16 *bytes* de cabeçalho e 8 *bytes* de dados, conforme descrito na Tabela A.1<sup>1</sup>.

Tabela A.1: Formato das mensagens

Deslocamento	Tamanho ( <i>bytes</i> )	Nome	Lido como
0	7	Assinatura	Cadeia de caracteres
7	2	Versão <i>major</i>	Inteiro não sinalizado
9	2	Versão <i>minor</i>	Inteiro não sinalizado
11	4	Identificador	Inteiro não sinalizado
15	1	Operação	Byte
16	8	Dados	Cadeia de caracteres

---

<sup>1</sup>Os dados inteiros são representados no formato *little-endian*.

### A.3 Assinatura

A assinatura do protocolo é uma cadeia de caracteres fixa que identifica que a mensagem faz parte do protocolo. Na data deste documento a assinatura é "*OPENVRT*".

### A.4 Versão

A versão é dividida em dois campos, *major* e *minor*, e possui o papel central de garantir que mestres e escravos conversem através da mesma terminologia.

Uma versão *major* identifica uma grande mudança no protocolo, usualmente sem retro-compatibilidade com versões anteriores. Por exemplo, uma alteração que modifique o tamanho de algum campo não fornece retro-compatibilidade e deve incrementar a versão *major*.

Já a versão *minor* identifica pequenas melhorias ou correções no protocolo, fornecendo retro-compatibilidade com versões anteriores. Por exemplo, a adição de uma nova operação fornece retro-compatibilidade desde que as demais operações continuem válidas, e deve incrementar a versão *minor*.

Recomenda-se que mestres e escravos operem sempre sobre a *mesma* versão *major* e exibam alertas quando a versão *minor* for diferente, solicitando uma atualização do sistema menos atualizado.

### A.5 Identificador

Cada mensagem carrega consigo um valor inteiro como identificador. O identificador é utilizado para referenciar uma mensagem previamente recebida, em contextos de confirmação de recebimento ou recusa da mensagem. Por exemplo, o mestre envia uma determinada mensagem de identificador *48* para o escravo. Este, ao receber a mensagem, envia uma resposta do tipo "confirmação de recebimento", com o identificador *48* contido no campo de dados, informando que a mensagem do identificador foi recebida e aceita com sucesso.

### A.6 Operação

A operação descreve a intenção da mensagem. Cada operação possui um *byte* identificador. As operações suportadas são descritas na Tabela A.2.

Tabela A.2: Operações suportadas

Operação	Remetente(s)	Representação Hexadecimal
REFUSE	Ambos	0x00
ACK	Ambos	0x01
HANDSHAKE	Mestre	0x02
RATE SET	Mestre	0x03
MEASUREMENT SET	Mestre	0x04
WORK WIDTH SET	Mestre	0x05

- **REFUSE** - Informa ao *emissor* que o *receptor* recebeu a mensagem, mas não aceitou seu conteúdo. O identificador da mensagem recusada deve estar presente nos dados.
- **ACK** - Informa ao *emissor* que o *receptor* recebeu a mensagem e aceitou seu conteúdo. O identificador da mensagem aceita deve estar presente nos dados.
- **HANDSHAKE** - Informa ao *escravo* que o *mestre* deseja iniciar uma conexão. O campo de dados é ignorado.
- **RATE SET** - Informa ao *escravo* que o *mestre* deseja alterar a taxa de aplicação. A nova taxa deve estar presente nos dados no formato de ponto fixo 6.2 sem separador de decimais, e ser maior ou igual à zero.
- **MEASUREMENT SET** - Informa ao *escravo* que o *mestre* deseja alterar a medida de aplicação. O identificador da medida deve estar presente nos dados. As medidas suportadas e seus identificadores são livres, especificados por cada dispositivo aplicador (*escravo*).
- **WORK WIDTH SET** - Informa ao *escravo* que o *mestre* deseja alterar a largura de trabalho. A nova largura deve estar presente nos dados, em metros, no formato de ponto fixo 6.2 sem separador de decimais, e ser maior do que zero.

## A.7 Dados

O campo de dados, ou *payload*, é onde concentra-se a carga útil de cada mensagem, sendo assim não um meta-dado mas uma informação a ser utilizada pelo destinatário da mensagem.

O dado dependerá da operação especificada no cabeçalho, por exemplo, uma mensagem de operação *REFUSE* irá informar no campo de dados qual o identificador da mensagem recusada. Por convenção, os dados são sempre representados de modo textual, cabendo ao receptor da mensagem convertê-lo adequadamente ao formato demandado quando necessário.



# Bibliografia

- [Arduino 2018]ARDUINO. *Arduino Mega 2560 Rev3*. [S.l.], 2018. Acesso em 25 set. 2018. Disponível em: <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-mega-2560-rev3>>.
- [Brown 2003]BROWN, J. *dBase IV limitations*. 2003. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.johnbrown.com.au/approach/webfaq04040210.html>>.
- [Cepicky 2017]CEPICKY, J. *Switch from Shapefile*. 2017. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<http://switchfromshapefile.org/>>.
- [Couto, Scaramuzza e Maraschini 2002]COUTO, E. G.; SCARAMUZZA, J. F.; MARASCHINI, L. Influência dos métodos de interpolação dos dados nos mapas usados na agricultura de precisão. *Simpósio Internacional de Agricultura de Precisão*, v. 2, p. 1–5, 2002.
- [ECMA International 2015]ECMA INTERNATIONAL. *ECMAScript 2015 Language Specification*. 6th. ed. [S.l.], 2015. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<http://www.ecma-international.org/ecma-262/6.0/index.html>>.
- [Electron 2018]ELECTRON. *Electron*. 2018. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<https://electronjs.org/>>.
- [Electronics Hub 2015]ELECTRONICS HUB. *PID Controller-Working and Tuning Methods*. 2015. Acesso em 10 out. 2018. Disponível em: <<https://www.electronicshub.org/pid-controller-working-and-tuning-methods/>>.
- [ESRI 1998]ESRI. *Shapefile Technical Description*. [S.l.], 1998. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<https://www.esri.com/library/whitepapers/pdfs/shapefile.pdf>>.
- [GPS.gov 2017]GPS.GOV. *GPS Accuracy*. 2017. Acesso em 29 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.gps.gov/systems/gps/performance/accuracy/>>.

- [Internet Engineering Task Force 1981]INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. *Transmission Control Protocol (TCP)*. [S.l.], 1981. Acesso em 29 ago. 2018. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc793>>.
- [Internet Engineering Task Force 2016]INTERNET ENGINEERING TASK FORCE. *The GeoJSON Format*. [S.l.], 2016. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<https://tools.ietf.org/html/rfc7946>>.
- [Kantar 2018]KANTAR. *Kantar Worldpanel - Android vs iOS - Smartphone OS sales market share evolution*. 2018. Acesso em 01 jun. 2018. Disponível em: <<https://www.kantarworldpanel.com/global/smartphone-os-market-share/>>.
- [Leong, Low e Ooi 2012]LEONG, B. T. M.; LOW, S. M.; OOI, M. P.-L. Low-cost microcontroller-based hover control design of a quadcopter. *Procedia Engineering*, Elsevier, v. 41, p. 458–464, 2012.
- [Mercaldi 2012]MERCALDI, H. V. *Automação de um sistema de pulverização para aplicação de agroquímicos a taxa variada usando injeção direta*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2012.
- [Metcalf 2017]METCALF, C. *Shapefile.js*. 2017. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<https://github.com/calvinmetcalf/shapefile-js>>.
- [Microchip Technology 2018]MICROCHIP TECHNOLOGY. *ATmega 2560*. [S.l.], 2018. Acesso em 25 set. 2018. Disponível em: <<https://www.microchip.com/wwwproducts/en/ATmega2560>>.
- [Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento 2017]MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. *Principais Conceitos e Expressões Utilizados na Agricultura de Precisão*. 2017. Acesso em 29 mar. 2018. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/tecnologia-agropecuaria/agricultura-de-precisao-1/arquivos-de-agricultura-de-precisao/conceitos-relacionados-a-agricultura-de-precisao-1.pdf/view>>.

- [Mozilla 2012]MOZILLA. *Mozilla Public License, version 2.0*. 2012. Acesso em 23 out. 2018. Disponível em: <<https://www.mozilla.org/en-US/MPL/2.0/>>.
- [OpenLayers 2018]OPENLAYERS. *OpenLayers*. 2018. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<https://openlayers.org/>>.
- [OpenStreetMap Foundation 2018]OPENSTREETMAP FOUNDATION. *OpenStreetMap*. 2018. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <[https://www.openstreetmap.org](https://www.openstreetmap.org/)>.
- [Pereira 2008]PEREIRA, R. R. D. *Protocolo ISO 11783: procedimentos para comunicação serial de dados do controlador de tarefa*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2008.
- [SAP 2016]SAP. *Importing Shapefiles in SAP HANA and the validity of geometries*. 2016. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<https://blogs.sap.com/2016/08/30/importing-shapefiles-in-sap-hana-and-the-validity-of-geometries/>>.
- [Saraiva, Cugnasca e Hirakawa 2000]SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. Aplicação em taxa variável de fertilizantes e sementes. *Borém, A., MP Giudice, DM Queiroz, EC Mantovani, LR Ferreira, FXR Valle, e RLR Gomide. Agricultura de precisão. Viçosa: UFV*, p. 109–145, 2000.
- [Serviço Nacional de Aprendizagem Rural 2012]SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL. *Máquinas Agrícolas: Tecnologias de precisão*. 2012.
- [Shaner 2013]SHANER, J. *Smartphones, Tablets and GPS Accuracy*. 2013. Acesso em 29 ago. 2018. Disponível em: <<https://www.esri.com/arcgis-blog/products/arcgis-online/field-mobility/smartphones-tablets-and-gps-accuracy/>>.
- [Sousa, Lopes e Inamasu 2014]SOUSA, R. V. de; LOPES, W. C.; INAMASU, R. Y. Automação de máquinas e implementos agrícolas: eletrônica embarcada, robótica e sistema de gestão de informação. *Embrapa Informática Agropecuária-Capítulo em livro científico (ALICE)*, In: MASSRUHÁ, SMFS; LEITE, MA de A.; LUCHIARI JUNIOR, A.; ROMANI, LAS (Ed.). *Tecnologias da informação e comunicação e suas relações com a agricultura*. Brasília, DF: Embrapa, 2014. Cap. 11., 2014.

- [Tangerino 2009]TANGERINO, G. T. *Sistemas de sensoriamento embarcado para uso em controle de aplicações de insumos agrícolas à taxa variável*. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, 2009.
- [Wang et al. 2001]WANG, N. et al. Design of an optical weed sensor using plant spectral characteristics. *Transactions of the ASAE*, American Society of Agricultural and Biological Engineers, v. 44, n. 2, p. 409, 2001.
- [You 2018]YOU, E. *Vue*. 2018. Acesso em 08 jun. 2018. Disponível em: <<https://vuejs.org/>>.
- [Zhang, Wang e Wang 2002]ZHANG, N.; WANG, M.; WANG, N. Precision agriculture — a worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, Elsevier, v. 36, n. 2-3, p. 113–132, 2002.